1С

УДК 681.3:519.9

В.В. Сторож
Донецкий национальный технический университет, Украина
Украина, 83050, г. Донецк, пр. Богдана Хмельницкого, 84

Актуальные направления исследований интеллекта и мышления

V.V. Storozh
Donetsk National Technical University, Ukraine
Ukraine, 83050, c. Donetsk, Bogdana Khmelnitskogo av. 84

Actual Directions of Researches of Intelligence and Thinking

В.В. Сторож
Донецький національний технічний університет, Україна
Україна, 83050, м. Донецьк, пр. Богдана Хмельницького, 84

Актуальні напрямки досліджень інтелекту та мислення

В статье показана недостаточность искусственных нейросетей для решения таких задач, как поиск информации в текстах, перевод и аналогичных по сложности. Предложено с учетом сложности мозга и принципов его работы использовать для этих целей идеологию иерархически организованных систем и методы системной динамики.
Ключевые слова: организация работы мозга, сложность, моделирование.

In the article insufficiency artificial neural networks for the decision of such problems, as information search in texts, transfer, and similar on complexity is shown. It is offered taking subject to the complexity of a brain and principles of its work to use for these purposes ideology of hierarchically organised systems and methods of system dynamics.
Key words: organization of work of a brain, complexity, modeling.

У статті показана недостатність штучних нейромереж для розв'язання таких задач, як пошук інформації в текстах, переклад та аналогічних за складністю. Запропоновано з урахуванням складності мозку та принципів його роботи використовувати для цих цілей ідеологію ієрархічно організованих систем та методи системної динаміки.
Ключові слова: організація роботи мозку, складність, моделювання.

Введение

Компьютерные методы, называемые также методами искусственного интеллекта, широко используются при поиске и анализе информации. К таким востребованным и бурно развивающимся направлениям относятся, в частности, поиск информации в массивах текстов и в Интернете, перевод, извлечение знаний из массива информации, взаимодействие человека и компьютера и др. Вместе с тем, поработав в соответствующих программах, легко убедиться, что существующие компьютерные методы дают результаты, очень сильно уступающие человеку. В ряде предыдущих работ автора [1-3] рассмотрены причины этого и направления выхода из кризиса.

Целью данной работы является систематизация ранее полученных результатов об ограничениях методов искусственного результата, и выработка целостной картины дальнейших исследований с учетом практических потребностей по поиску и анализу информации.

В качестве основных классов ограничений выделены следующие:

– неучет многоуровневого, иерархического (точнее, гетерархического) строения как самой природы мышления и интеллекта, так и наших представлений о них;

– излишняя упрощенность представлений о работе мозга на нейронном уровне;

– принципиальное различие в методах обработки информации мозгом и в формальных методах.

Организация работы с информацией как система уровней

Система обработки информации у человека является многоуровневой и иерархически организованной. На рис. 1 показаны в качестве иллюстрации ключевые уровни работы с информацией и их взаимодействие.



Рисунок 1 – Ключевые уровни работы с информацией

При изучении обработки информации человеком обычно ограничиваются каким-то одним уровнем: логико-математическим, понятийным или нейрофизиологическим. Изучение каждого уровня, как правило, ведется в рамках набора тесно связанных дисциплин. В то же время связи между уровнями исследованы довольно слабо и несистематично. В результате мы слабо понимаем, как работа одного уровня влияет на работу других, например, как нейрофизиология связана с психологией и познанием.

Между тем познание – и как совокупность физических и интеллектуальных процессов, и как совокупность дисциплин, изучающих эти процессы – является многоуровневой системой, где отдельные уровни и их элементы связаны с другими уровнями

и элементами других уровней. И информация об этих взаимодействиях должна быть заложена в описаниях уровней и их элементов. Но при традиционных исследованиях, основанных на декомпозиции уровней, такая информация просто отбрасывается! Естественно, после этого принципы взаимодействия уровней становятся загадкой.

Учитывая количество взаимосвязей между уровнями, их сложность и качественную разнородность, количество информации, новых понятий и объема исследований, необходимых для описания уровней, сравнимо с таковыми внутри каждого уровня. А это означает, что для описания взаимодействий между уровнями необходимо создание соответствующих полноценных дисциплин. И для объединения всего этого необходимо создание соответствующей *общей теории иерархических систем.* Причем такая теория должна включать описание понятий разных уровней и взаимосвязи между ними. Математические и философские теории, которые в настоящее время выдаются за общую теорию систем, в принципе неспособны обеспечить указанные требования вследствие того, что при описании систем они ограничиваются терминами и идеологией одного из уровней (в приведенном случае – математического или философского).

Необходимо отметить, что исследования последних десятилетий характеризуются интеграцией отдельных дисциплин в более крупные комплексы, в частности, компьютерные науки (computer science), ядром которых являются методы искусственного интеллекта; когнитивные науки (cognitive science), объединяющие исследования в психологии, лингвистике и мышлении; нейронауки (neuroscience), объединяющие молекулярные исследования, генетику, нейрофизиологию и ряд других дисциплин.

Прослеживается также появление четкой взаимосвязи между указанными комплексами наук. Так, из входящих в список Scopus журналов по состоянию на 2011 год примерно 10% позиционировали себя не просто как междисциплинарные, а как объединяющие исследования различных комплексов дисциплин (исследования автора). Причем большая часть таких глобально междисциплинарных изданий появилась в последние годы.

Приведенные факты свидетельствуют о том, что международное научное сообщество понимает важность междисциплинарных исследований и прилагает усилия к их организации. Вместе с тем необходимо отметить, что отсутствует четкое понимание того, как работают реальные иерархические системы, что требует организации и запуска соответствующих исследовательских проектов.

Информационные и нейрофизиологические характеристики мозга

Обсуждение данного вопроса проведем в следующих направлениях:

1. Посчитаем, исходя из физических принципов, максимальное количество информации, которой оперирует мозг и его отдельные элементы.

2. Покажем, что реальная сложность мозга очень высока, и для ее организации необходима если не вся, то, по крайней мере, значительная часть из теоретически оцененного объема информации.

По уточненным данным [4], [5] человеческий мозг содержит около 100 млрд нейронов. На каждый нейрон в коре головного мозга приходится в среднем 30 тыс. синапсов [6]. То есть мозг содержит не менее 10^{15} элементов. Но эти элементы по своей сложности далеко превосходят элементы компьютерных схем. Каждый синапс является сложным физическим образованием, включающим десятки везикул и миллионы молекул. Передачу сигналов на контактах в мозгу регулируют около сотни веществ (нейротрансмитеров) [4].

Информационные потоки на синаптическом уровне можно посчитать, умножив общее количество синапсов на среднюю частоту их возбуждений (порядка 100 Гц [4]). Получаем величину порядка 10^{17} бит/с. Но вследствие сложности синапсов существуют информационные потоки на досинаптическом уровне. Произведем их оценку.

Согласно Бремерманну [7], максимальное количество информации, которое может быть получено от тела массой 1 кг, вычисляется по формуле:

$$N = mc^2\Delta t/h \qquad (1),$$

и равно порядка 10^{50} бит. Но для получения такого количества информации вещество необходимо нагреть до температуры перехода его в излучение.

Более приемлемо рассчитывать информационные потоки по мощности, рассеиваемой в теле. Формула для расчета:

$$N \leq E^*\Delta t/h. \qquad (2)$$

Мозг потребляет мощность порядка 20 Вт. Теоретически возможный поток информации, соответствующий этой мощности, составит порядка 10^{34} бит/с. Максимальный информационный поток, связанный с одним синапсом, составит:

$$10^{34} : 10^{15} = 10^{19} \text{ бит/с.}$$

Это информационная мощность физико-химических процессов в области отдельно взятого синапса. Какая часть из этой информации необходима для нашего мышления, а какую можно считать балластом? Пожалуй, сейчас на этот вопрос ответить невозможно. Некоторые косвенные оценки сделаем из следующих соображений.

1. В программе Евросоюза [8] по созданию искусственного мозга планируется создание компьютера со скоростью обработки информации 10^{18} бит/с, т.е., на порядок более быстрого, чем скорость обработки информации человеческим мозгом на нейронном уровне. Тем не менее, авторы проекта не претендуют на получение мышления и понимания. То есть даже при такой скорости работы компьютер не приближается по мыслительным характеристикам к человеку.

2. Рассмотрим основные принципы работы отдельного синапса [4] (рис. 2.):

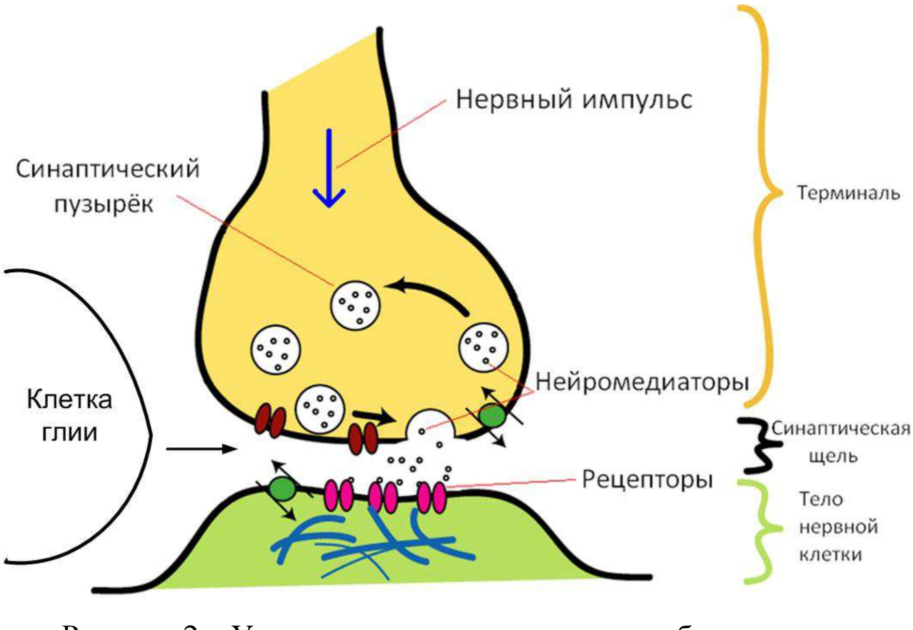


Рисунок 2 – Упрощенное представление о работе синапса

На приведенном рисунке представлено крайне упрощенное представление о работе синапса. Действительная его работа гораздо сложнее, поскольку:

– в работе синапсов участвуют свыше ста типов нейромедиаторов (молекул, запускающих различные процессы в синаптической щели);

– в результате действия нейромедиатора возникают цепочки химических взаимодействий, включающие десятки этапов. Количество типов молекул, участвующих в этих взаимодействиях, – свыше тысячи;

– различные процессы, обладающие своей динамикой протекания, взаимодействуют друг с другом;

– действие нейромедиаторов зависит от динамики нервных импульсов, а, в конечном итоге, от общей картины возбуждения нейронов мозга;

– клетки глии (вспомогательные клетки) реагируют на окружение и динамику нервных импульсов и выдают свои управляющие воздействия на синаптическую область (вплоть до образования новых синапсов).

В настоящее время, несмотря на интенсивное изучение и колоссальный объем полученной информации, не существует хотя бы примерной модели работы синапса, включающей динамику происходящих в нем и его окружении процессов. Это свидетельствует о том, что сложность синапса и происходящих в нем процессов действительно очень высока и находится за пределами возможностей современной вычислительной техники. Модели синапса, конечно, могут содержать существенно меньше информации, чем реальный физический синапс. Однако это возможно только в том случае, если мы поймем закономерности работы синапса настолько, что это позволит нам существенно сократить информацию, описывающую ключевые аспекты его работы.

Моделирование работы мозга

Рассмотрим представление о работе мозга и реализации его функций в искусственных нейросетях и нейрофизиологии.

Основными элементами искусственной нейросети являются преобразующие информацию элементы (нейроны) и подстраиваемые связи между ними – синапсы (напр. [9, с. 32-43]). Синапсы соединены с большим количеством нейронов (при послойной организации сети – это нейроны предыдущего слоя), амплитуда сигнала в них в простейших случаях просто равна сумме амплитуд сигналов, выходящих из подсоединенных нейронов и умноженных на силу или вес данного синапса. Основное преобразование информации осуществляется в «теле» искусственного нейрона с помощью так называемой функции активации. В более сложных случаях возможно некое избирательное изменение амплитуд сигналов, приходящих от различных нейронов, но необходимо отметить, что оно осуществляется по относительно простой заранее заданной функции, и единообразно для большого количества нейронов. Знания нейросети заключаются в синаптических весах и приобретаются они в процессе настройки или обучения нейросети. Для целей данной работы важно подчеркнуть, что искусственные нейросети используют два основных типа элементов, преобразующих информацию – синапсы и нейроны, а функции преобразования относительно просты и задаются извне.

Нейрофизиологи выделяют гораздо больше уровней структурной организации мозга. Так, один из наиболее авторитетных нейрофизиологов Г.М. Шепперд выделяет девять уровней [10, p.6]. Далее они приведены в порядке возрастания:

– генный;

– молекулярный и ионный;

– синаптический;

– синаптические микроцепи;
– дендритные деревья;
– нейроны;
– локальные (региональные) сети;
– сети между областями мозга (interregional circuits);
– системы, отвечающие за поведение.

Также Шепперд замечает [10, p. 7], что в физически реализованных искусственных системах (нейрочипах), количество уровней обработки информации намного меньше.

В той же работе Шепперд показывает, что на каждом из уровней мозга может осуществляться довольно сложная обработка информации, не используемая в искусственных нейросетях. В частности, амплитуда синапсов нелинейным образом может зависеть от состояния окружающих синапсов, предыстории, большого количества нейротрансмиттеров и нейромедиаторов и др. На уровне дендритных деревьев возможны самые различные типы взаимодействия ветвей между собой: нелинейное изменение амплитуды, реализация логических операций и др. Фактически многообразие уровней, типов взаимодействий и информационных состояний приводит к тому, что каждый нейрон и синапс мозга меняет свои состояния не типовым образом, а индивидуальным. То же можно сказать и о любых организованных совокупностях синапсов и нейронов.

Представляется, что именно за счет такой феноменальной сложности (пластичности) мозг способен к пониманию и мышлению, когда для любого контекста создается свое собственное, уникальное представление как ситуации в целом, так и информационных единиц (образов, концептов и др.), составляющих это представление.

Но одной лишь сложности для объяснения работы мозга недостаточно. Возникает вопрос, каким образом реализуется согласованная перестройка элементов многочисленных уровней мозга человека, так, чтобы адекватно отображать текущую ситуацию, связанные с ней проблемы и способы решения этих проблем? Как правило, в не очень сложных случаях оценка ситуации и выбор решения осуществляется человеком за доли секунды, секунды, в крайнем случае, минуты. Учитывая, что количество возбуждений нейронов мозга в среднем составляет порядка ста в секунду, мозг обрабатывает информацию за очень небольшое количество тактов, намного меньшее, чем при обработке информации (например, распознавании образов) в искусственных нейросетях.

Где находится программа, рассчитывающая необходимые перестройки элементов различных уровней мозга, и кто ее реализует? При использовании формальных методов такую программу пишут программисты, а реализуется она в процессе работы компьютера.

Человек, естественно, для организации своего мышления программ на сознательном уровне не пишет. В таком случае, они должны генерироваться автоматически в процессах мышления, переживания, осознавания и.д. Но во всех этих процессах мы имеем дело с нервными процессами высших уровней, наиболее сложно организованными и основанными на работе всех нижележащих уровней процессов и структур. К таким процессам верхних уровней можно отнести понятийные и образные представления, оценки различных типов, включая, например, уровень удовлетворительности решения, тональную окрашенность, осознаваемый уровень достоверности и многое другое. И все эти, вообще говоря, кооперативные эффекты высокого уровня интеграции и организации закономерным образом влияют на локальные процессы, происходящие на уровне синапсов, дендритных деревьев, нейронов и т.д.

По аналогии с компьютерным программированием, назовем такую систему, осуществляющую закономерную перестройку элементов и процессов всех уровней мозга, *системой оперативного перепрограммирования.* Эта система является многоуровневой и иерархически организованной. Поэтому для описания требуется и общая теория иерархических систем, и конкретные опытные знания об организации взаимодействия различных уровней обработки информации в человеческом мозгу.

Возникает закономерный вопрос, а какой же инструментарий использовать для моделирования всей этой иерархически организованной сложности? Традиционные искусственные нейросети не подходят для этой роли по целому ряду причин:

– излишне простое представление о работе синапса;

– сложность или даже невозможность использования иерархической организации;

– сложность использования принципиально различных типов преобразования информации (например, формально-логических и нелинейных преобразований);

– сложность учета временных характеристик анализируемой информации.

В то же время в настоящее время детально разработана идеология создания и использования моделей системной динамики, которые позволяют легко справиться с перечисленными проблемами. Поэтому для моделирования работы мозга с учетом его сложности и иерархической организации представляется целесообразным использовать модели типа системно-динамических.

Литература

1. Сторож В.В. Моделирование интеллектуальной деятельности человека / В.В. Сторож // Искусственный интеллект. – 2012. – № 3. – С. 42-51.
2. Сторож В.В. О моделировании понимания – Problems of computer Intellectualization / Сторож В.В. – Kyiv – Sofia : ITHEA, 2012. – P. 21-30.
3. Сторож В.В. Мозг и понимание / В.В. Сторож // Сборник трудов Междунар. научн. конф. «Интеллектуальный анализ информации». – К. : Просвита, 2013. – С. 125-131.
4. Baars B.J. Cognition, Brain and Consciousness / B.J. Baars, N.M. Gage. – Amsterdam. – Elsevier, 2010 – 677 p.
5. Azevedo F.A.C. ea Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain // The Journal of Comparative Neurology. – 2009. – № 513. – P. 532-541.
6. DeFelipe J. Microstructure of the neocortex: Comparative aspects / J. DeFelipe, L. Alonso-Nanclares, J.I. Arellano // Journal of Neurocytology. – 2002. – V. 31. – P. 299-316.
7. Bremermann H.J. Optimization through evolution and recombination // Self-Organizing Systems / [ed. by M.C. Yovits and S. Cameron. – Washington – Spartan. – 1962. – P. 93-106.
8. The Human Brain Project. A Report to the European Comission, 2012 – 108 p.
9. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / Хайкин С. – М. : Вильямс, 2006. – 1104 с.
10. Shepherd G.M. Introduction to synaptic circuits / G.M. Shepherd // The Synaptic Organization of the Brain / [ed. G.M. Shepherd]. – Oxford University Press. – P. 1-38.

Literatura

1. Storozh V.V. Modelling of intellectual activity of the person // Iskustvenniy intellect -2012. – N 3. – P.42-51.
2. Storozh V.V. About understanding modeling – Problems of computer Intellectualization – Kyiv – Sofia: ITHEA – 2012. – P.21-30.
3. Storozh V.V. Brain and Undrestanding / Sbornik trudov Mezhdunar. Nauchn. Conf. “Intellectualniy analiz informazii” – K.: Prosvita – 2013. – P.125-131.
4. Baars B.J., Gage N.M. Cognition, Brain and Consciousness – Amsterdam..- Elsevier – 2010 – 677 p.
5. Azevedo F.A.C. ea Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain // The Journal of Comparative Neurology – 2009 . – N 513 – P. 532-541.
6. DeFelipe J., Alonso-Nanclares L., Arellano J.I. Microstructure of the neocortex: Comparative aspects // Journal of Neurocytology – 2002. - V. 31. – P. 299-316.
7. Bremermann H.J. Optimization through evolution and recombination / Self-Organizing Systems / Ed. by Yovits M.C. and Cameron S. – Washington – Spartan – 1962. – P. 93-106.

8. The Human Brain Project. A Report to the European Comission – 2012 – 108 p.
9. Haykin S. Neural networks: A comprehensive foundation – M.: Viljams – 2006. – 1104 p.
10. Shepherd G.M. Introduction to synaptic circuits / Ed. Shepherd G.M The Synaptic Organization of the Brain – Oxford University Press – P.1-38.

RESUME

V.V. Storozh

Actual Directions of Researches of Intelligence and Thinking

In work it is shown that for understanding of work of a brain and its modelling creation both the general theory of hierarchical systems, and the concrete theory of the hierarchical organisation of work of a brain is necessary.

Complexity of elements of a brain is very high, especially it concerns to synaptic level of its organisation. This complexity is not considered in artificial neural networks that does not allow to solve with their help many almost important problems, in particular, information search, transfer, the analysis of the text, etc.

One of the most surprising properties of a brain is the co-ordinated reorganisation of elements of all levels of the organisation of a brain depending on results of the analysis of the information. By analogy to computer programming it is offered to name the system providing specified reorganisation of elements, system of operative reprogramming.

It is shown that artificial neural networks poorly correspond to requirements of modelling of hierarchically organised work of a brain. It is offered to use methods of system dynamics for these purposes.

Статья поступила в редакцию 25.06.2013.